

I hereby certify that this correspondence is being hand delivered to:
Commissioner for Patents, 2011 South Clark Place, Room 1B03, Crystal
Plaza 2, Arlington, Virginia, 22202, on the date shown below.

Dated: July 28, 2003 Signature: _____

(Jeff McCuller)

Docket No.: 449122060300
(PATENT)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:
Werner FRIE et al.

Application No.: Not Yet Assigned

Group Art Unit: Not Yet Assigned

Filed: July 28, 2003

Examiner: Not Yet Assigned

For: PROCEDURE FOR ERMITTING AN AIR
MASS STREAM

CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENT

Commissioner for Patents
2011 South Clark Place
Room 1B03, Crystal Plaza 2
Arlington, Virginia 22202

Sir:

Applicants hereby claim priority under 35 U.S.C. 119 based on the following prior
foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Date</u>
Germany	102 34 492.2	July 29, 2002

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed
herewith.

Dated: July 28, 2003

Respectfully submitted,

By _____

Kevin R. Spivak

Registration No.: 43,148

MORRISON & FOERSTER LLP
1650 Tysons Blvd, Suite 300
McLean, Virginia 22102
703-760-7762

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 34 492.2

Anmeldetag: 29. Juli 2002

Anmelder/Inhaber: Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Ermittlung eines Luftmassenstroms

IPC: G 01 F, F 02 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

DPMA



Beschreibung

Verfahren zur Ermittlung eines Luftmassenstroms

5 Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur
Ermittlung eines Luftmassenstroms in einem Luftkanal unter
Verwendung eines Luftmassenstromsensors, mittels dessen Sig-
nale, die jeweils einem Betrag eines Wertes des Luftmassen-
stroms entsprechend, erfassbar sind, bei dem Sensorsignale
10 erfasst und daraus mittels einer Kennlinie Werte des Luftmas-
senstroms ermittelt werden. Die Erfindung bezieht sich weiter
auf eine entsprechende Luftmassenstromsensoreinheit mit einem
Luftmassenstromsensor, mit dem ein einer Größe eines Luftmas-
senstroms in einem Luftkanal entsprechendes Signal bildbar
15 ist.

Ein wichtiges Anwendungsgebiet derartiger Verfahren und Luft-
massenstromsensoren ist die Messung von Luftmassenströmen im
Ansaugluftkanal moderner Brennkraftmaschinen. Zur genauen
20 Steuerung der Verbrennung in solchen Brennkraftmaschinen ist
es nämlich notwendig, die über den Ansaugluftkanal angesaugte
Luftmenge genau zu messen, um das Kraftstoff-Luftverhältnis
bei der Verbrennung optimal zu halten.

25 Zur Messung eines solchen Luftmassenstroms werden vielfach
Hitzdraht- oder Heißfilm-Luftmassenstrommesser verwendet. Die
Arbeitsweise dieser Sensoren fußt darauf, dass ein Luftmas-
senstrom einen erhitzten Körper entsprechend der Größe des
Luftmassenstroms um den Körper abkühlt. Daher wird ein Heiz-
30 widerstand durch Regelung eines den Heizwiderstand durchflie-
ßenden Stroms auf einer konstanten Temperatur oberhalb der
Temperatur des Luftmassenstroms gehalten. Der hierzu erfor-
derliche Heizstrom bildet ein sehr genaues, allerdings nicht-
lineares Maß für den Luftmassenstrom.

35

Strömt die Luft in einem Ansaugkanal immer nur in einer Rich-
tung, arbeiten diese Sensoren mit hinreichender Genauigkeit.

Bei Brennkraftmaschinen treten jedoch Betriebszustände auf, in denen Pulsationen der Luft im Ansaugluftkanal der Brennkraftmaschine auftreten können. Diese Pulsationen können so stark werden, dass ein Rückstrom von Luft entgegen der normalen Ansaugrichtung auftritt. Die oben beschriebenen Messprinzipien unter Verwendung von Hitzdraht- oder Heißfilm-Luftmassenstrommessern erlauben jedoch nur die Bestimmung der Größe, nicht aber der Richtung eines Luftmassenstroms. Im Falle von Pulsationen kann dies dazu führen, dass ein Rückstrom als Zustrom von Ansaugluft gemessen wird, was die Steuerung der Brennkraftmaschine wesentlich erschwert.

Eine Möglichkeit, solche Rückströme zu erkennen, besteht darin, zwei in Strömungsrichtung voneinander beabstandete Sensoren oder einen Sensor mit zwei in Strömungsrichtung voneinander beabstandeten Sensorelementen zu verwenden, um durch Vergleich der Werte auf das Vorhandensein eines Rückstroms schließen zu können. Solche Anordnungen weisen jedoch einen vergleichsweise komplizierten Aufbau auf und erfordern eine aufwendige Montage in einem Ansaugluftkanal.

Aus DE 43 42 481 C2 ist ein Verfahren zum Messen der angesaugten Luftmasse einer Brennkraftmaschine mit einem in deren Ansaugtrakt angeordneten temperaturempfindlichen Messfühler eines Massendurchflussmessers beschrieben, bei dem von mittleren Lastzuständen der Brennkraftmaschine an ein im Ansaugtrakt in Ansaugrichtung stromabwärts zu dem Messfühler angeordnetes beheizbares Zusatzheizelement zur fehlerkompensierenden Wirkung auf den Messfühler aufgeheizt wird. Bei diesem Verfahren muss das Zusatzheizelement zusätzlich in den Ansaugtrakt eingebaut werden, was die Fertigungskosten erhöht.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes Verfahren zur Ermittlung eines Luftmassenstroms und einen entsprechenden Luftmassenstromsensor derart weiterzubilden, dass ein durch Pulsationen verursachter Rückstrom von Ansaugluft zuverlässig erkennbar ist.

Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, dass eine Zeitreihe von Signalen, die mehrere von bereits erfasste Signalen umfasst, einer Schwingungsanalyse unterzogen wird, wobei eine Grundschwungung und
5 wenigstens eine vorgegebene Oberschwungung der Grundschwungung ermittelt und Parameter der Grundschwungung und der vorgegebenen Oberschwungung miteinander verglichen werden, und dass ein Vorliegen einer Rückströmung entgegen einem mittleren
10 Luftmassenstrom auf Grund von Pulsationen festgestellt wird, wenn das Verhältnis der Parameter der Oberschwungung zu der Grundschwungung einen vorgegebenen Schwellwert überschreitet.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann für beliebige Luft- oder Gasmassenstromsensoren verwendet werden, deren Ausgangssignale nur die Größe, unter der im Rahmen der Erfindung ein nicht negativer Wert verstanden wird, nicht aber die Richtung eines zu erfassenden Luftmassenstroms wiedergeben. Insbesondere
15 kann es sich dabei um Hitzdraht- oder Heißfilmsensoren handeln.
20

Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt gerade die Eigenschaft der Luftmassenstromsensoren, die zu den Problemen bei der Erkennung von Rückströmen führt, nämlich, dass nur der Betrag
25 des Luftmassenstroms, nicht aber dessen Richtung bestimmt werden, aus, um Rückströmungen zu erkennen.

Zum einfacheren Verständnis kann man den Luftmassenstrom als
30 eine Überlagerung eines mittleren Luftmassenstroms und einer Schwingung mit einer bestimmten Pulsationsfrequenz, einem bestimmten Modulationsgrad, der die auf die Größe des mittleren Luftmassenstroms bezogene Amplitude der Schwingung des Luftmassenstroms um den mittleren Luftmassenstrom angibt, und mit
35 einem verschwindenden Mittelwert bei Mittelung über eine Periode auffassen. Beispielsweise kann bei einer harmonischen Pulsationsschwingung der Luftmassenstrom Q als Funktion der

Zeit t , der Pulsationsfrequenz ω , des Modulationsgrades m und des mittleren Luftmassenstroms Q_{av} folgendermaßen ausgedrückt werden:

5
$$Q = Q_{av} \cdot (1 + m \cdot \cos(\omega t)).$$

Ist der Modulationsgrad kleiner als 100%, tritt keine Rückströmung auf, da die Amplitude der Schwingung immer kleiner als der Mittelwert des Luftmassenstroms bleibt und der resul-
10 tierende momentane Luftmassenstrom immer positiv bleibt. Die Sensorsignale entsprechen dann durchgehend dem tatsächlichen Luftmassenstrom, also einer Überlagerung einer Konstanten und einer Schwingung. Eine Schwingungsanalyse führt daher zur Er-
kennung des mittleren Luftmassenstroms und der überlagerten
15 Komponente bei der Pulsationsfrequenz.

Ist der Modulationsgrad größer als 100%, tritt jedoch eine Rückströmung während der Zeiträume auf, in denen die augenblicklichen Luftmassenstromwerte negativ werden. Dies ist der
20 Fall, wenn die momentane Auslenkung der Schwingung negativ und deren Betrag größer als der negative mittlere Luftmassenstrom ist. Das Sensorsignal hat dann jedoch nicht mehr die Form einer Konstanten und einer dieser überlagerten Schwin-
gung, da während der Zeiten, in denen die Rückströmung auf-
25 tritt, statt eines negativen Luftmassenstroms ein positiver Luftmassenstrom gleichen Betrages erfasst wird, dessen Größe dem der Rückströmung entspricht. Bei der Schwingungsanalyse der Sensorsignale treten daher zusätzlich zu der der Pulsati-
onsfrequenz entsprechenden Grundschwingung Oberschwingungen
30 auf, die vom Modulationsgrad des pulsierenden Luftmassenstroms abhängen.

Zur Bestimmung einer Rückströmung wird daher für ein aktuelles Sensorsignal eine Zeitreihe, die eine vorgegebene Anzahl
35 von vor dem aktuellen Signal erfassten Signalen umfasst, einer Schwingungsanalyse unterzogen. Vorzugsweise wird bei der Anwendung an Brennkraftmaschinen ein Vielfaches eines Segmen-

tes verwendet, bei dem man die Grundschwingungsmoden kennt. Günstigerweise erfolgt die Schwingungsanalyse in einer Steuereinheit einer Brennkraftmaschine, so dass über die Drehzahl die Grundfrequenz bekannt ist. Es müssen dann nur noch die O-

5 berschwingungen bestimmt werden.

Da die Pulsationsschwingung bzw. der entsprechende Verlauf des Sensorsignals nicht unbedingt sinus- oder cosinusförmig sein muss, können selbst bei Modulationsgraden unterhalb 100%

10 bei der Schwingungsanalyse Oberschwingungen feststellbar sein, deren Stärke jedoch wesentlich geringer ist als die Stärke von Oberschwingungen, die durch Rückflüsse verursacht werden. Daher wird zur Erkennung des Einsetzens eines Rück-

stromes die Oberschwingung mit der Grundschwingung anhand eines geeigneten Parameters verglichen. Überschreitet in diesem

15 Vergleich die Oberschwingung zur Grundschwingung einen vorgegebenen Schwellwert, wird eine Rückströmung erkannt. Der Schwellwert wird im allgemeinen von der funktionalen Form des der Schwingungsanalyse zugrundeliegenden, zeitabhängigen Sig-

20 nals abhängen. Er kann beispielsweise durch Versuche oder, wenn beispielsweise die Pulsationen mit hinreichender Genauigkeit simuliert werden können, unter Verwendung entsprechender Simulationsergebnisse festgestellt werden.

25 Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt es, auf einfache Weise ohne eine Veränderung des Luftmassenstromsensors einen durch Pulsationen verursachten Rückstrom von Luft zu erkennen. Insbesondere ist die Verwendung von zwei Luftmassenstromsensoren oder eines Luftmassenstromsensors mit zwei in Stromrichtung

30 voneinander beabstandeten Sensorelementen oder einem zusätzlichen Heizelement nicht mehr notwendig.

Um die Signale eines Luftmassenstromsensors auch bei Feststellung eines Rückstromes verwenden zu können, ist es bevorzugt, dass ein einem aktuellen Signal entsprechender Wert des

35 Luftmassenstroms in Bezug auf das Auftreten von Rückflüssen in dem Luftkanal korrigiert wird, wenn das Vorliegen einer

Rückströmung festgestellt wird. Hierzu kann beispielsweise der Signalwert des Luftmassenstromsensors oder der anhand der Kennlinie ermittelte Luftmassenstromwert durch den entsprechenden Wert vor Einsetzen der Pulsation oder durch Werte aus
5 einem vorgegebenen Korrekturkennfeld ersetzt werden. Letzteres kann beispielsweise als unabhängige Variable den mittleren Massenstrom und das Größenverhältnis des Parameters der Oberschwingung zu der Grundschiwingung umfassen. Möglicherweise kann als Luftmassenstrom auch nur der über die Pulsation
10 gemittelte Luftmassenstrom verwendet und ein weiteres Signal, dass das Vorliegen von Pulsationen anzeigt, ausgegeben werden.

Nach einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens
15 wird aus dem Verhältnis der Parameter der Grundschiwingung und der Oberschwingung ein Wert für den Modulationsgrad der Pulsation ermittelt und zur Korrektur verwendet. Insbesondere kann dann ein Modell für den Luftmassenstrom verwendet werden, um aus dem mittleren Luftmassenstrom und dem Modulationsgrad den tatsächlichen Luftmassenstrom näherungsweise, ge-
20 gebenenfalls bereits für ein ganzes vorgegebenes Zeitintervall zu bestimmen.

Grundsätzlich kann die Schwingungsanalyse, z.B. in Form einer
25 Fourieranalyse oder Analyse der Harmonischen, für jedes erfasste Sensorsignal als aktuelles Signal durchgeführt werden. Das letzte Signal der Zeitreihe kann dabei einen vorgegebenen zeitlichen Abstand von dem aktuellen Signal aufweisen, der so gewählt ist, dass die Information der Schwingungsanalyse noch
30 zu Korrektur des aktuellen Signals anwendbar ist. Der zeitliche Abstand kann dabei insbesondere in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, mit der Pulsationen, die einen Rückstrom bewirken, typischerweise einsetzen oder abklingen, von der Geschwindigkeit, mit der die Schwingungsanalyse durchführbar
35 ist und, falls eine Korrektur durchgeführt wird, von der Art der Korrektur gewählt werden. Die Zeitreihe kann aber auch neben der vorgegeben Anzahl von vor dem aktuellen Signalen

erfassten Signalen zusätzlich noch den aktuellen Signalwert enthalten, der dann den letzten Signalwert bildet, so dass der zeitliche Abstand Null ist.

- 5 Die Schwingungsanalyse erfordert je nach der Arbeitsgeschwindigkeit der zur Durchführung verwendeten Mittel jedoch gegebenenfalls eine längere Zeit als bis zur Erfassung eines nächstens Signalwertes zur Verfügung steht. Darüber hinaus setzen die Pulsationen, die einen Rückstrom bewirken, bedingt
10 durch die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von Luftwellen und in Abhängigkeit von den Gegebenheiten der Brennkraftmaschine schnellstens mit einer entsprechenden, vorgegebenen maximalen Geschwindigkeit ein und klingen ebenfalls schnellstens mit einer entsprechenden maximalen Geschwindigkeit ab.
- 15 Es ist daher bevorzugt, dass die Schwingungsanalyse in vorgegebenen zeitlichen Abständen durchgeführt wird, die größer sind als die zeitlichen Abstände aufeinanderfolgender Erfassungen von Sensorsignalwerten. Das Vorliegen bzw. Nichtvorliegen einer Rückströmung kann dann über den Zeitraum zwischen aufeinanderfolgenden Schwingungsanalysen extrapoliert
20 werden. Der zeitliche Abstand, in dem Schwingungsanalysen durchgeführt werden, kann dabei insbesondere in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit mit der Pulsationen, die einen Rückstrom bewirken, typischerweise einsetzen oder abklingen, und/oder von der Geschwindigkeit, mit der die Schwingungsanalyse durchführbar ist, abhängen. Vorzugsweise werden Signale
25 bei einer Brennkraftmaschine segmentweise verarbeitet.

Bei der soeben beschriebenen Ausführungsform ist es besonders
30 bevorzugt, dass eine Korrektur von Werten des Luftmassenstroms auf der Basis der jeweils letzten Schwingungsanalyse erfolgt. Der Abstand, in dem Schwingungsanalysen durchgeführt werden, kann dann insbesondere auch von der Art der Korrektur, insbesondere eines Extrapolationsfehlers bei Verwendung eines Modells für Pulsationen, abhängen.
35

Das erfindungsgemäße Verfahren kann allgemein zur Bestimmung von Luftmassenströmen in Luftkanälen verwendet werden, insbesondere in Ansaugluftkanälen von Brennkraftmaschinen. Obwohl Pulsationen grundsätzlich bei allen Drehzahlen einer Brennkraftmaschine auftreten können, verursachen sie nur in bestimmten Betriebszuständen eine Rückströmung von Ansaugluft. Es ist daher bevorzugt, dass als Luftkanal ein Ansaugluftkanal einer Brennkraftmaschine verwendet wird, dass wenigstens ein Betriebsparameter der Brennkraftmaschine erfasst wird, und dass die Schwingungsanalyse nur durchgeführt wird, wenn der erfasste Betriebsparameter in einem vorgegebenen Bereich liegt, in dem Pulsationen einer vorgegebenen Mindeststärke erwartet werden. Der vorgegebene Bereich kann dabei insbesondere von der Bauweise der Brennkraftmaschine und des Ansaugluftkanals bzw. dessen Resonanzfrequenzen für Luftschwingungen und dem Lastzustand abhängen. Bei dem Betriebsparameter kann es sich insbesondere um die Drehzahl und, bei Ottobrennkraftmaschinen, den Drosselklappenwinkel, der unter anderem den Lastzustand mitbestimmt, handeln. Dieses Vorgehen reduziert den Aufwand zur Bestimmung einer Rückströmung beträchtlich, was insbesondere in dem Fall, dass die Schwingungsanalyse in einem Steuergerät der Brennkraftmaschine durchgeführt wird, zu einer bedeutenden Entlastung eines darin vorhandenen Prozessors führen kann.

Zur Durchführung der Schwingungsanalyse werden die Signale des Luftmassenstromsensors, soweit sie nicht bereits digitalisiert sind, zweckmäßigerweise zum Beispiel unter Verwendung eines Analog-Digital-Wandlers mit einer für die Zwecke der Schwingungsanalyse ausreichend hohen Abtastfrequenz digitalisiert. Die Schwingungsanalyse kann auf der Basis dieser digitalisierten Signalwerte erfolgen, wobei eine eventuelle Korrektur der Werte des Luftmassenstroms durch eine Korrektur der Signalwerte bewirkt wird, die dann entsprechend der Kennlinie in Luftmassenstromwerte umgesetzt werden. Häufig ist die Kennlinie des Luftmassenstromsensors jedoch nichtlinear, wodurch die Schwingungsanalyse erschwert wird, da die der

Grund- und Oberschwingung entsprechenden Spitzen verbreitert sind. Es ist daher bevorzugt, dass aus den Signalen unter Verwendung der Kennlinie des Luftmassenstromsensors Werte einer Luftmassenstromvariablen ermittelt werden und die Schwingungsanalyse auf der Basis einer Zeitreihe von Luftmassenstromvariablenwerten, die der Zeitreihe der Signale entspricht, erfolgt. Liegt keine Rückströmung vor, entsprechen die Werte der Luftmassenstromvariablen den Luftmassenstromwerten. Andernfalls kann eine eventuell Korrektur der Werte der Luftmassenstromvariablen zu Luftmassenstromwerten dann auf der Ebene der Luftmassenströme erfolgen und damit wesentlich einfacher sein, da eine Nichtlinearität der Kennlinie des Luftmassenstromsensors nicht berücksichtigt zu werden braucht.

Die Bestimmung der Parameter der Grund- und Oberschwingung kann beispielsweise mittels Laplace-Transformationen oder mittels Wavelet-Analysen erfolgen. Wegen der Einfachheit und insbesondere auch Ausführungsgeschwindigkeit ist es jedoch bevorzugt, dass die Schwingungsanalyse mit einer Fourieranalyse erfolgt. Besonders bevorzugt wird eine schnelle Fourier-Transformation verwendet.

Die Parameter der Grund- und Oberschwingung kann auf verschiedene Art und Weise definiert sein. Bevorzugt können Stärken der Grundschiwingung und der Oberschwingung in Form der Amplituden dieser Schwingungen verwendet werden, die sich direkt bei der Schwingungsanalyse ergeben.

Wenn bei der Schwingungsanalyse die Phasen- und/oder die Amplitudeninformation verwendet werden, ergibt sich eine besonders genaue Korrektur. Besonders rechensparsam verläuft das Verfahren, wenn die Phasenlage zwischen 1. und 2. Harmonischer ausgewertet wird.

Sind die Spitzen in der Grund- und Oberschwingung bei der Schwingungsanalyse breit bzw. eher glockenförmig, ist die

entsprechende Frequenz der Spitze und damit die Amplitude oft schwer zu bestimmen. Es ist dann bevorzugt, dass Stärken der Grundschiwingung und der Oberschiwingung verwendet und an Hand eines Leistungsspektrums ermittelt werden. Insbesondere kann
5 die Fläche unter den Schwiwingungen entsprechenden Spitzen als Maß für die Stärke verwendet werden, wodurch sich eine sehr genaue Bestimmung der Stärke der entsprechenden Schwiwingung ergibt. Dies kann besonders bei Vorliegen von nicht-harmonischen Schwiwingungen ein Vorteil sein.

10

Die Frequenz der Grundschiwingung kann grundsätzlich anhand der Schwiwingungsanalyse bestimmt werden, wozu allerdings gegebenenfalls eine aufwendige Suche notwendig ist. Um die Suche nach der Pulsation entsprechenden Grundschiwingung bei Brenn-
15 kraftmaschinen zu beschleunigen, ist es bevorzugt, dass als Luftkanal ein Ansaugluftkanal einer Brennkraftmaschine verwendet wird, dass eine Drehzahl der Brennkraftmaschine ermittelt wird, und dass zur Bestimmung der Grundschiwingung eine Drehzahl der Brennkraftmaschine ausgewertet wird. Bei einer
20 Brennkraftmaschine ist die Pulsationsfrequenz näherungsweise hauptsächlich durch das Produkt aus Drehzahl der Brennkraftmaschine und deren Zylinderzahl dividiert durch die Anzahl der Arbeitstakte pro Umdrehung der Kurbelwelle bestimmt. Innerhalb eines vorgegebenen Bereichs um diese näherungsweise
25 bestimmte Pulsationsfrequenz kann dann nach der tatsächlichen Pulsationsfrequenz gesucht werden, wodurch der Aufwand für die Suche wesentlich reduziert werden kann.

30

Um möglichst genaue Daten zur Oberschiwingung zu erhalten, ist es bevorzugt, dass als Oberschiwingung die erste harmonische Oberschiwingung verwendet wird. Diese weist häufig eine größere Stärke auf als höhere Harmonische, so dass Rauschen nur geringere relative Fehler bei der Bestimmung der Stärke der Oberschiwingung und des Verhältnisses der Stärke der Ober-
35 schwiwingung zu der der Grundschiwingung hervorruft als bei der Verwendung höherer Oberschiwingungen. Wird nur die erste harmonische Oberschiwingung verwendet, kann zusätzlich die Ab-

tastfrequenz, mit der Signale des Luftmassenstromsensors erfasst werden, kleiner gewählt werden, als bei Verwendung höherer Oberschwingungen.

5 Um eine zuverlässigere Feststellung einer Rückströmung bzw. Korrektur des Luftmassenstromwertes zu ermöglichen, ist es bevorzugt, dass Parameter von wenigstens einer weiteren Oberschwingung ermittelt und zusätzlich das Verhältnis der Grundschwingung zu der weiteren Oberschwingung und/oder das Ver-
10 hältnis der Oberschwingung zu der weiteren Oberschwingung zur Feststellung einer Rückströmung und/oder Korrektur verwendet wird. Die Verwendung weiterer Oberschwingungen kann insbesondere eine bessere Abschätzung des Modulationsgrades und damit der Größe eines Rückstromes zulassen.

15 Das erfindungsgemäße Verfahren kann beispielsweise mit einem Steuergerät, das die Brennkraftmaschine steuert, ausgeführt werden, wenn dieses einen entsprechend programmierten Prozessor aufweist. Auch kann eine entsprechende Einheit direkt in
20 einen Luftmassensensor integriert werden, wodurch Verkabelungsaufwand vermieden wird.

Die Aufgabe wird weiter gelöst durch eine Luftmassenstromsensoreinheit mit einem Luftmassenstromsensor, mit dem ein einer
25 Größe eines Luftmassenstroms in einem Luftkanal entsprechendes Signal bildbar ist, die eine mit dem Luftmassenstromsensor verbundene Auswerteeinrichtung aufweist, die zur Umsetzung des Signals des Luftmassenstromsensors in einen Wert einer Ausgabevariable entsprechend einer Kennlinie des Luftmas-
30 senstromsensors, die einen Zusammenhang zwischen dem Signal des Luftmassenstromsensors und entsprechenden Größen des Luftmassenstroms wiedergibt, und zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildet ist.

35 Insbesondere kann die Auswerteeinrichtung einen Speicher und einen mit dem Speicher verbundenen digitalen Signalprozessor

aufweisen, der zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens programmiert ist.

Eine erfindungsgemäße Luftmassenstromsensoreinheit kann im
5 Luftmassensensor oder im Steuergerät einer Brennkraftmaschine
realisiert werden, um das Verfahren durchzuführen. Sie kann
insbesondere als Modul gefertigt und für sehr unterschiedli-
che Steuergeräte verwendet werden.

10 Die Erfindung wird nachfolgend beispielhaft anhand der Zeich-
nungen noch näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Ottomotors mit ei-
nem Steuergerät und einem Ansaugluftkanal mit einem Hitz-
15 draht-Luftmassenstromsensor und

Fig. 2 eine Darstellung einer Kennlinie des Luftmassensors
in Fig. 1, und

20 Fig. 3 vier Diagramme, die ein simuliertes Frequenzspektrum
von Pulsationen bei jeweils verschiedenen Modulationsgraden
veranschaulichen.

In Fig. 1 ist ein Ottomotor 1 mit einem Ansaugluftkanal 2
25 verbunden, über den dem Ottomotor 1 Ansaugluft zur Verbren-
nung zugeführt wird. Ein Steuergerät 3 ist mit dem Ottomotor
1 zu dessen Steuerung verbunden. In bzw. an dem Ansaugluftka-
nal 2 ist ein Hitzdraht-Luftmassenstromsensor 4 angeordnet,
der mit dem Steuergerät 3 verbunden ist.

30

Der Ottomotor 1 ist in bekannter Weise als 4-Takt-Motor auf-
gebaut und umfasst in der schematischen Darstellung in Fig. 1
die dort nicht ausdrücklich gezeigten Einrichtungen einer
Luftzufuhr, einer Kraftstoffförderanlage und einer Abgasbe-
35 handlungseinrichtung. Insbesondere weist er in Fig. 1 nicht
gezeigte Aktoren zur Steuerung von Betriebsparametern wie zum
Beispiel Ansaugluftmenge sowie Zeitpunkte und Mengen von zu-

geführten Kraftstoff, sowie Sensoren zur Erfassung von Werten von Betriebsparametern auf, von denen in Fig. 1 nur ein Drehzahlsensor 5 gezeigt ist.

- 5 Der Drehzahlsensor 5, der einen Differential-Feldplatten-sensor und ein mit der Kurbelwelle des Ottomotors 1 verbundenes Zahnrad umfasst, erfasst in bekannter Weise eine Drehzahl des Ottomotors 1 und gibt entsprechende Drehzahl-signale an das Steuergerät 3 aus.

10

Der nur schematisch dargestellte, an sich bekannte Hitzdraht-Luftmassenstromsensor 4 umfasst eine Brückenschaltung mit einem ersten und einem zweiten Brücken-zweig sowie eine Regeleinrichtung 6 mit einem Differenzverstärker.

15

Der erste Brücken-zweig weist eine Reihenschaltung eines temperaturabhängigen Widerstands R_T und einen weiteren Widerstand R_1 auf. Der zweite Brücken-zweig umfasst einen temperaturabhängigen Sensorheizwiderstand R_H sowie eine damit in Reihe geschalteten Widerstand R_2 .

20

Der Widerstand R_T und der Sensorheizwiderstand R_H sind in dem Ansaugluftkanal 2 so angeordnet, dass bei normaler Luftströmung in dem Ansaugluftkanal 2 der Widerstand R_T stromaufwärts des Sensorheizwiderstands R_H angeordnet ist.

25

Die Regeleinrichtung 6 ist über ihren Eingang mit den Abgriffspunkten zwischen den Widerständen R_T und R_1 bzw. zwischen dem Sensorheizwiderstand R_H und dem Widerstand R_2 verbunden und versorgt über ihren Ausgang die Brückenschaltung mit Strom.

30

Der Widerstand R_T dient als Temperaturfühler für die Temperatur der Ansaugluft. Der Sensorheizwiderstand R_H dient der Messung des Luftmassenstroms, wobei ausgenutzt wird, dass der Sensorheizwiderstand R_H durch einen Luftmassenstrom, der eine geringere Temperatur aufweist als der Sensorheizwiderstand

35

R_H , entsprechend der Größe des Luftmassenstroms abkühlt wird, was wiederum zu einer entsprechenden Änderung seines Widerstandswertes führt.

5 Die Regeleinrichtung 6 regelt in Abhängigkeit von der Differenz der zwischen den Widerständen R_T und R_1 abgegriffenen Spannung einerseits und der zwischen dem Sensorheizwiderstand R_H und dem Widerstand R_2 abgegriffenen Spannung andererseits den Strom durch die Brückenzweige und insbesondere durch den
10 Sensorheizwiderstand R_H so, dass der Sensorheizwiderstand R_H auf einer vorgegebenen festen Temperaturdifferenz relativ zu der durch den Widerstand R_T gemessenen Temperatur der Ansaugluft gehalten wird.

15 Dazu wird der Strom so verändert, dass die durch den Luftmassenstrom verursachte Abkühlung des Sensorheizwiderstands R_H durch eine entsprechende Änderung des Stroms durch die Brücke und damit den Sensorheizwiderstand R_H kompensiert und so die Spannungsdifferenz am Eingang der Regeleinrichtung 6 konstant
20 gehalten wird.

Eine an dem Widerstand R_2 abgegriffene, zu dem Strom durch die Brückenschaltung proportionale und damit dem Luftmassenstrom entsprechende Spannung bildet ein Sensorausgangssignal
25 des Luftmassenstromsensors 4, das dem Steuergerät 3 zugeführt wird. Das Sensorausgangssignal des Luftmassenstromsensors 4 entspricht dabei entsprechend einer in Fig. 2 gezeigten Kennlinie einem Luftmassenstrom, wobei die Kennlinie von dem Durchmesser des Ansaugluftkanals 2 abhängt. Da die Abkühlung
30 des Sensorheizwiderstands R_H nur von der Größe des Luftmassenstroms abhängt, ist mit dem Heißdraht-Luftmassenstromsensor 3 nicht die Richtung des Luftmassenstroms ermittelbar.

35 Das Steuergerät 3 umfasst Erfassungseinrichtungen für Signale der mit dem Steuergerät verbundenen Sensoren, von denen in Fig. 1 nur ein mit dem Luftmassenstromsensor 4 verbundener A-

analog-Digital-Wandler 7 gezeigt ist, Ausgabeeinrichtungen zur Ansteuerung der Aktoren des Ottomotors 1, einen mit den Erfassungseinrichtungen und den Ausgabeeinrichtungen verbundenen Prozessor 8 sowie eine mit dem Prozessor 8 verbundene Speichereinrichtung 9 zur Speicherung wenigstens eines auf dem Prozessor 8 auszuführenden Programms, bei der Ausführung des Programms anfallender Daten sowie zur permanenten Speicherung der Kennliniendaten.

Der Prozessor 8 steuert unter anderem mittels eines entsprechenden Steuerprogramms in Abhängigkeit der von den Sensoren erfassten Werte, insbesondere auch des erfassten Luftmassenstroms in dem Ansaugluftkanal 2, die Aktoren des Ottomotors 1. Weiterhin dient der Prozessor 8 der Bestimmung des Luftmassenstroms aus den Sensorausgangssignalen des Luftmassenstromsensors 4, wozu er ein entsprechendes Programm, das auch ein Teil des Steuerprogramms sein kann, ausführt.

Zur Erfassung des Luftmassenstroms wird das analoge Signal des Luftmassenstromsensors 4 in dem Analog-Digital-Wandler 7 mit einer vorgegebenen Abtastfrequenz abgetastet und in ein entsprechendes Digitalsignal umgesetzt, das dem Prozessor 8 bzw. der Speichereinrichtung 9 zugeführt und in der Speichereinrichtung 9 gespeichert wird. Um wenigstens die erste Oberschwingung einer Pulsationsschwingung in dem Sensorausgangssignal des Luftmassenstromsensors 4 erfassen zu können, ist die Abtastfrequenz dabei größer als das Vierfache der höchsten zu berücksichtigenden Pulsationsfrequenz, bei der Rückströmungen auftreten könnten und die im wesentlichen durch das Produkt aus einer entsprechenden Motordrehzahl und Zylinderzahl dividiert durch die Anzahl der Arbeitstakte pro Umdrehung der Kurbelwelle gegeben ist.

In der Speichereinrichtung 9 wird dabei nur eine vorgegebene Anzahl N von unmittelbar aufeinanderfolgenden Werten des digitalisierten Sensorausgangssignals des Luftmassenstromsensors 4 entsprechend der zeitlichen Reihenfolge ihrer Erfas-

sung gespeichert, so dass bei Speicherung eines neu erfassten Sensorsignalwertes der älteste der N Werte gelöscht oder überschrieben wird.

- 5 Die aus den gespeicherten N Werten bestehende Zeitreihe wird dann zur Durchführung einer Schwingungsanalyse einer schnellen Fourier-Transformation (FFT) oder einem anderen Analyseverfahren unterworfen, und die Ergebnisse werden in der Speichereinrichtung 9 abgespeichert.

10

Resultierende Spektren, deren Punkte zur besseren Darstellung durch eine glatte Kurve verbunden sind, sind beispielhaft in den Diagrammen A bis D in Fig. 3 für Modulationsgrade von 20% (d.h. 0,2), 100% (d.h. 1,0), 150% (d.h. 1,5), bzw. 300% (d.h. 3,0), bei jeweils gleicher Pulsationsfrequenz und Abtastfrequenz gezeigt. Die Ordinaten sind dabei die Werte der Fourier-Transformierten in dB bezogen auf einen vorgegebenen Normierungswert. Da es nur auf die Verhältnisse der Werte der Fourier-Transformierten bzw. die entsprechenden Differenzen des Logarithmus der Verhältnisse ankommt, spielt die Größe des Normierungswerts keine Rolle und ist willkürlich gewählt.

20

Die Spektren zeigen Spitzen 10, 10', 10'' und 10''' für eine Grundschiwingung bei der Pulsationsfrequenz. Weiterhin treten unter anderem Spitzen 11, 11', 11'' und 11''' für erste Oberschwingungen bei der doppelten Pulsationsfrequenz und Spitzen 12, 12', 12'' und 12''' für zweite Oberschwingungen bei der dreifachen Pulsationsfrequenz auf. Die Verhältnisse der Amplituden der Oberschwingungen zu denen der Grundschiwingungen hängen dabei offensichtlich vom Modulationsgrad ab: Bei einem Modulationsgrad von 20% beträgt der Unterschied zwischen den Amplituden der Grundschiwingung und der ersten Oberschwingung etwa 40 dB (vgl. Diagramm A) und steigt dann bei Erreichen eines Modulationsgrades von 100%, bei dem eine Rückströmung einzusetzen beginnt, auf eine Differenz von 20 dB (vgl. Diagramm B), die etwa der bei einem Modulationsgrad von 150%

25

30

35

entspricht (vgl. Diagramm C), um bei einem Modulationsgrad von 300% etwa 5 dB zu erreichen (vgl. Diagramm D).

5 Während die Amplituden der ersten und der zweite Oberschwingung bei einem Modulationsgrad von 100% sich noch um etwa 10dB unterscheiden, sind sie bei einem Modulationsgrad von 150% etwa gleich groß.

10 In dem resultierenden Spektrum wird zur Ermittlung der Lage der Spitzen zunächst nach einer Grundschiwingung im Bereich der zu erwartenden Pulsationsfrequenz, gegeben durch das Produkt aus einer von dem Drehzahlsensor 5 erfassten Motordrehzahl und der Anzahl der Zylinder dividiert durch die Anzahl der Arbeitstakte pro Umdrehung der Kurbelwelle gesucht, indem
15 ein entsprechendes Maximum in dem Spektrum ermittelt wird.

Wird ein solches Maximum gefunden, wird der Wert der Fourier-Transformierten ermittelt und zusammen mit der entsprechenden Pulsationsfrequenz gespeichert.

20

Danach wird der Wert der Fourier-Transformierten bei der doppelten und dreifachen Pulsationsfrequenz bestimmt.

25 Übersteigt das Verhältnis der Amplitude der erster Oberschwingung und der der Grundschiwingung einen Schwellwert, der -20 dB entspricht und somit etwa 0,01 beträgt, wird das Einsetzen einer Rückströmung festgestellt.

30 Bei Feststellung einer Rückströmung werden die Maxima der abgetasteten, zeitabhängigen digitalisierten Sensorausgangssignalwerte des Luftmassenstromsensors 4 dazu verwendet, korrigierte Sensorausgangssignalwerte zu ermitteln. Dazu wird ausgenutzt, dass das digitalisierte Sensorausgangssignal dem Betrag des Luftmassenstroms entspricht, der nun während einer
35 Periode der Pulsationsschiwingung teilweise positiv, d.h. in Richtung auf den Ottomotor 1 zu, und teilweise negativ, d.h. in entgegengesetzter Richtung weisend, ist. Das Maximum mit

dem geringeren Wert entspricht dabei gerade dem Minimum des tatsächlichen Luftmassenstroms.

5 Danach wird aus dem je nach Wert des Modulationsgrades korrigierten oder unkorrigierten Sensorausgangssignalwert anhand der Kennlinie des Luftmassenstromsensors 4, die in der Speichereinrichtung 9 des Steuergeräts 3 gespeichert ist, der Luftmassenstrom ermittelt, der dann gegebenenfalls zwischengespeichert und weiter zur Steuerung des Ottomotors 1 verwendet wird.

15 Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel findet vor der Durchführung der Schwingungsanalyse eine Umsetzung der digitalisierten Sensorausgangssignalwerte in Luftmassenstromwerte statt, die dann die Grundlage der Schwingungsanalyse bilden.

20 Dazu werden die digitalisierten Sensorausgangssignalwerte vor einer Speicherung mittels der in der Speichereinrichtung 9 gespeicherten Kennlinie des Luftmassenstromsensors 4 zunächst in Werte einer Luftmassenstromvariablen, die unkorrigierten Luftmassenstromwerten entsprechen, umgesetzt, die dann wie die digitalisierten Sensorausgangssignalwerte im ersten Ausführungsbeispiel abgespeichert werden.

25 Die Schwingungsanalyse erfolgt daraufhin auf der Basis der resultierenden, der Zeitreihe im ersten Ausführungsbeispiel entsprechenden Zeitreihe von Werten der Luftmassenstromvariablen.

30 Das resultierende Spektrum zeigt ebenfalls Spitzen für eine der Pulsationsschwingung entsprechende Grundschwingung und Oberschwingungen. Bedingt durch die Beseitigung der Nichtlinearität aufgrund der nichtlinearen Kennlinie ergeben sich jedoch klarere Unterschiede in den Amplituden der entsprechenden Spitzen. Der Schwellwert für das Verhältnis der Amplitude
35 der ersten Oberschwingung und der Grundschwingung muss dabei auf einen entsprechenden, anderen Wert gesetzt werden.

Liegt keine Rückströmung vor, entsprechen die Werte der Luftmassenstromvariablen der tatsächlichen Größe des Luftmassenstroms und werden entsprechend verwendet. Andernfalls erfolgt
5 ein eventuell notwendige Korrektur der Werte der Luftmassenstromvariablen zu tatsächlichen Luftmassenstromwerten auf der Ebene der Luftmassenstromwerte in einer dem ersten Ausführungsbeispiel entsprechenden Form und ist so einfacher und genauer durchführbar.

10

Die ermittelten Luftmassenstromwerte können dann, gegebenenfalls nach Zwischenspeicherung, weiter zur Motorsteuerung weiterverwendet werden.

15 Bei einem dritten Ausführungsbeispiel sind dem Analog-Digital-Wandler 7, dem Prozessor 8 und der Speichereinrichtung 9 entsprechende Komponenten zusammen mit einem dem Luftmassenstromsensor 4 entsprechenden Luftmassenstromsensor zu einer Luftmassenstromsensoreinheit zusammengefasst, die von
20 dem Prozessor ermittelte Luftmassenstromwerte an ein Steuergerät ausgibt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung eines Luftmassenstroms in einem
5 Luftkanal (2) unter Verwendung eines Luftmassenstromsensors
(4), mittels dessen Signale, die jeweils einem Betrag eines
Wertes des Luftmassenstroms entsprechen, erfassbar sind,
bei dem Sensorsignale erfasst und daraus mittels einer Kenn-
linie Werte des Luftmassenstroms ermittelt werden,
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass eine Zeitreihe von Signalen, die mehrere bereits erfass-
ten Signale umfasst, einer Schwingungsanalyse unterzogen
wird, wobei eine Grundschiwingung und wenigstens eine vorgege-
bene Oberschiwingung der Grundschiwingung ermittelt und Parame-
15 ter der Grundschiwingung und der vorgegebenen Oberschiwingung
miteinander verglichen werden, und
dass ein Vorliegen einer Rückströmung entgegen einem middle-
ren Luftmassenstrom auf Grund von Pulsationen festgestellt
wird, wenn das Verhältnis der Parameter der Oberschiwingung zu
20 der Grundschiwingung einen vorgegebenen Schwellwert über-
schreitet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
als Parameter die Amplitude und/oder Phasenlage verwendet
25 wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,
dass ein einem aktuellen Signal entsprechender Wert des
Luftmassenstroms in Bezug auf das Auftreten von Rückflüssen
30 in dem Luftkanal (2) korrigiert wird, wenn das Vorliegen ei-
ner Rückströmung festgestellt wird.
4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch ge-
kennzeichnet, dass aus dem Verhältnis der Parameter der
35 Grundschiwingung und der Oberschiwingung ein Wert für den Modu-
lationsgrad der Pulsation ermittelt und zur Korrektur verwen-
det wird.

5. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsanalyse in vorgegebenen zeitlichen Abständen durchgeführt wird, die größer sind als
5 die zeitlichen Abstände aufeinanderfolgender Erfassungen von Sensorsignalwerten.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur von Werten des Luftmassenstroms auf der Basis
10 einer der letzten Schwingungsanalysen erfolgt.

7. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Luftkanal ein Ansaugluftkanal (2) einer Brennkraftmaschine (1) verwendet wird, dass wenigstens
15 ein Betriebsparameter der Brennkraftmaschine (1) erfasst wird, und dass die Schwingungsanalyse nur durchgeführt wird, wenn der erfasste Betriebsparameter in einem vorgegebenen Bereich liegt, in dem Pulsationen einer vorgegebenen Mindeststärke erwartet werden.

20 8. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus den Signalen unter Verwendung der Kennlinie des Luftmassenstromsensors (4) Werte einer Luftmassenstromvariablen ermittelt werden und die Schwingungsanalyse
25 auf der Basis einer Zeitreihe von Luftmassenstromvariablenwerten, die der Zeitreihe der Signale entspricht, erfolgt.

9. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwingungsanalyse mittels einer Fourieranalyse erfolgt.
30

10. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Parameter der Grundschiwingung und der Oberschiwingung an Hand eines Leistungsspektrums ermittelt
35 werden.

11. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Luftkanal ein Ansaugluftkanal (2) einer Brennkraftmaschine (1) verwendet wird,
dass eine Drehzahl der Brennkraftmaschine (1) ermittelt wird,
5 und dass zur Bestimmung der Grundschiwingung die Drehzahl der Brennkraftmaschine (1) verwendet wird.

12. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Oberschiwingung die erste harmonische
10 Oberschiwingung verwendet wird.

13. Verfahren einem der obigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Parameter von wenigstens einer weiteren Oberschiwingung ermittelt und zusätzlich das Verhältnis der Parameter der Grundschiwingung zu der weiteren Oberschiwingung
15 und/oder das Verhältnis der Parameter der Oberschiwingung zu der weiteren Oberschiwingung zur Feststellung einer Rückströmung und/oder Korrektur verwendet wird.

20 14. Luftmassenstromsensoreinheit mit einem Luftmassenstromsensor (4), mit dem ein einer Größe eines Luftmassenstroms in einem Luftkanal (2) entsprechendes Signal bildbar ist,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
eine mit dem Luftmassenstromsensor (4) verbundene Auswerteeinrichtung (6, 7, 8), die Signale des Luftmassenstromsensor
25 (4) in Werte des Luftmassenstroms umsetzt und dabei ein Verfahren nach einem der obigen Ansprüche ausführt.

Zusammenfassung

Verfahren zur Ermittlung eines Luftmassenstroms

- 5 Bei einem Verfahren zur Ermittlung eines Luftmassenstroms in
einem Luftkanal (2) unter Verwendung eines Luftmassenstrom-
sensors (4), werden zu aufeinanderfolgender Zeiten den Betrag
des Luftmassenstroms anzeigende Sensorsignale erfasst mittels
einer Kennlinie des Luftmassenstromsensors (4), entsprechende
10 Werte des Luftmassenstroms ermittelt. Dabei wird eine Zeit-
reihe von Signalen, einer Schwingungsanalyse unterzogen, wo-
bei eine Grundschiwingung und wenigstens eine vorgegebene O-
berschiwingung der Grundschiwingung ermittelt und eine Rück-
strömung festgestellt wird, wenn das Verhältniss der Stärke
15 der Oberschiwingung zu der Stärke der Grundschiwingung einen
vorgegebenen Schwellwert überschreitet.

Figur 1



Fig. 2

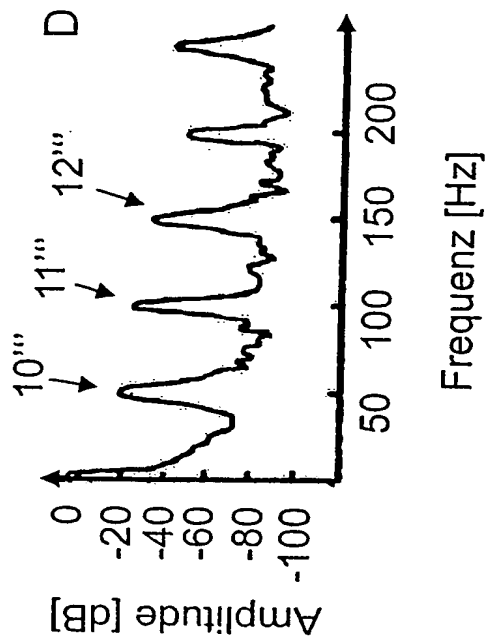
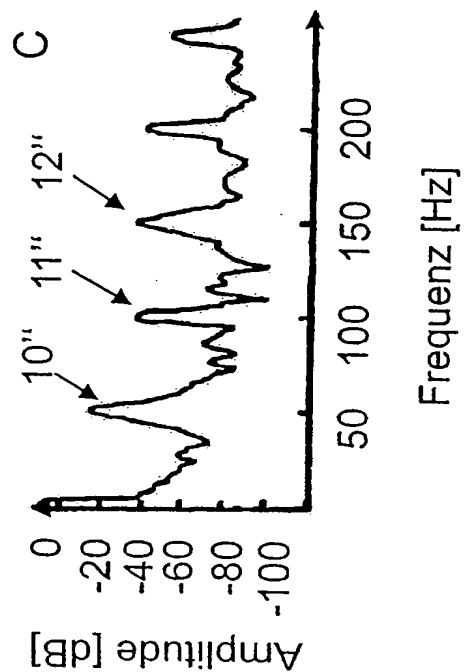
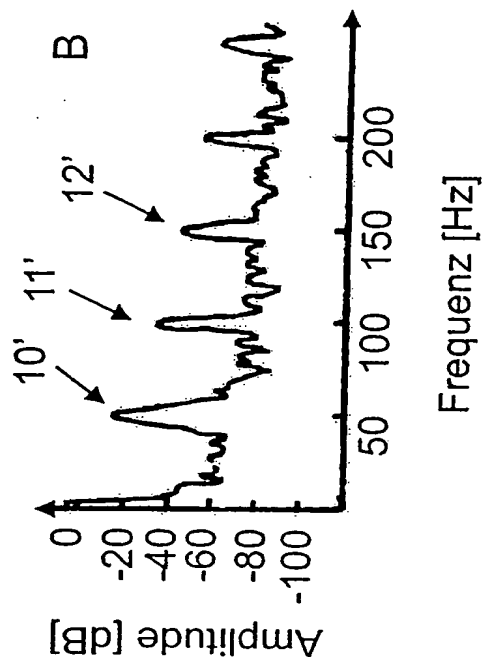
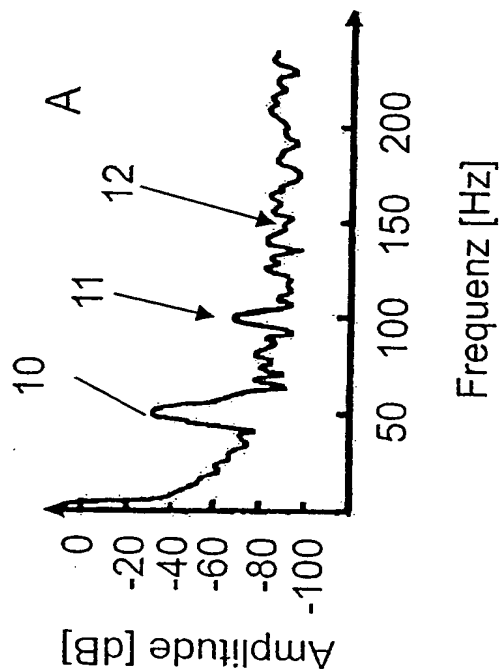


Fig. 3